

NRIP 참여를 통한 소변시료 바이오어세이 성능검사

하위호^{*,†}, 유재룡^{*}, 윤석원^{*}, 이승숙^{*}, 김종경[†]

^{*}한국원자력의학원 국가방사선비상진료센터, [†]한양대학교 원자력공학과

2014년 2월 4일 접수 / 2014년 2월 25일 1차 수정 / 2014년 3월 14일 2차 수정 / 2014년 3월 17일 채택

소변시료 바이오어세이는 분석설비가 비교적 간단하고 시료 채취가 용이하여 내부피폭선량 평가를 위하여 널리 사용되고 있는 대표적인 간접측정법이다. 본 연구에서는 소변시료 바이오어세이 결과에 대해 보다 객관적인 성능검사를 수행하기 위하여 미국 NIST에서 주관한 NRIP (NIST radiochemistry intercomparison program)에 참여한 결과를 소개하였다. 60일간의 분석기간 동안 인공합성소변으로 제작된 검사시료의 방사능분석결과를 보고하는 customary exercise에서는 12가지 방사성핵종에 대한 측정 결과 ANSI N13.30에서 제시하는 성능검사 기준을 모두 만족하는 것으로 확인되었다. 비상상황에 대비하여 8시간 이내에 방사능분석결과를 신속하게 보고하는 emergency preparedness exercise에서는 9가지 방사성핵종에 대하여 -35 ~ 45%의 차이를 나타내어 확인된 오차범위 내에서 비상시 신속한 내부피폭 분류에 적용하기에 적합한 것으로 확인되었다.

중심어: 내부피폭선량평가, 소변시료 바이오어세이, 성능검사, 방사능측정

1. 서론

내부피폭선량을 평가하기 위한 대표적인 방법으로 직접측정법과 간접측정법이 있다[1,2]. 직접측정법은 감마선을 방출하는 핵종이 내부피폭된 경우 인체외부에 설치된 전신계수기나 특정장기 모니터링장치를 이용하여 인체 외부로 방출되는 감마선을 직접 측정하는 방법이다[1]. 간접측정법은 인체 배설물이나 혈액, 비강 및 구강 채취시료 등의 방사능을 측정함으로써 체내 섭취량을 간접적으로 측정하는 방법이다[2]. 간접측정법은 주로 알파/베타 방출 핵종에 대한 분석을 위해 많이 사용되며 직접측정법을 수행하기 위한 설비가 부재할 경우 감마방출핵종에 대해서도 적용이 가능하다. 간접측정법에서는 주로 시료채취가 용이한 소변시료 바이오어세이(bioassay)가 널리 사용되고 있다[2]. 내부피폭선량 평가는 바이오어세이 결과에 의해 지배적으로 결정되기 때문에 정확한 내부피폭선량을 평가하기 위해서는 바이오어세이 결과에 대한 신뢰성이 우선적으로 확보될 필요가 있다. 국제표준기구(ISO)와 미국표준협회(ANSI)에서는 바이오어세이에 대한 정확도 및 정밀도에 대한 성능검사 기준을 마련하여 바이오어세이 수행기관의 측정결과에 대한 신뢰성을 확보하도록 권고하고 있다[3-5].

미국국립표준연구소(NIST)에서는 저준위의 환경방사능 및 바이오어세이 측정을 지원하고 측정결과에 대한 소급성을 확인하기 위하여 NRIP (NIST Radiochemistry Intercomparison Program)를 운영하고 있으며 이 프로그

램을 통해 방사능측정 실험실의 분석결과에 대한 성능검사를 정기적으로 수행하고 있다[6]. NRIP의 목적은 (1) 환경 및 생체 시료의 방사화학분석결과에 대한 소급성을 확인하고 (2)시료 및 핵종간 간섭에 따른 영향을 정확히 고려할 수 있는 역량을 평가하며 (3)저준위 방사능측정기술에 대한 품질개선을 위하여 참가 실험실의 분석방법을 검증하는데 있다[6]. 특히 시료물질에는 인공합성으로 제작된 소변 및 대변시료도 포함되어 다양한 기관에서 바이오어세이 결과에 대한 성능검사를 받는데 활용되는 것으로 보고되었다[6-9]. 이에 한국원자력의학원 국가방사선비상진료센터에서도 소변시료 바이오어세이에 대한 성능검사를 수행하기 위하여 2012년부터 NRIP에 매년 참여하였다.

본 연구에서는 소변시료 바이오어세이 결과에 대한 보다 객관적인 성능검사를 수행하기 위하여 NIST에서 주관한 NRIP-2013에 참여한 결과를 소개하였다. 소변시료 바이오어세이 교차분석은 두 가지 형태로 진행되었다. 국가방사선비상진료센터에서는 60일간의 분석기간 동안 참여 방사성핵종의 분석결과를 보고하는 customary exercise와 비상상황에 대비하여 8시간 내에 분석결과를 신속하게 보고하는 emergency preparedness exercise에 각각 참여하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 NRIP(NIST Radiochemistry Intercomparison Program)

NRIP는 27가지 방사성핵종에 대하여 다양한 검사시료

교신저자 : 하위호, lovin@kirams.re.kr
서울시 노원구 노원길 75

Table 1. Maximum Activity of Test Samples of NRIP.

Radionuclide	Maximum activity(Bq/sample)	
	Customary exercise	Emergency preparedness exercise
⁵⁴ Mn	250	250
⁵⁷ Co	250	250
⁵⁸ Co	250	250
⁶⁰ Co	250	250
⁶⁵ Zn	250	250
⁸⁹ Sr	1	10
⁹⁰ Sr	4	10
¹³³ Ba	250	250
¹³⁴ Cs	250	250
¹³⁷ Cs	250	250
¹⁵² Eu	250	250
¹⁹² Ir	250	250
Pb/ ²¹⁰ Po	1	10
²²⁶ Ra	1	10
²²⁸ Ra	1	10
²²⁸ Th	2	20
²³⁰ Th	2	20
²³² Th	2	20
²³⁴ U	1	10
²³⁵ U	1	10
²³⁸ U	1	10
²³⁷ Np	1	10
²³⁸ Pu	1	10
²³⁹ Pu	1	10
²⁴⁰ Pu	1	10
²⁴¹ Am	1	10
²⁴⁴ Cm	1	10

를 제공하고 있다. 검사시료에는 유리섬유필터, 종이필터, 인공합성소변, 인공합성대변, 물, 토양 시료 등이 포함된다. 방사성핵종 및 검사시료 형태는 참가 실험실이 선택적으로 지정할 수 있다. 추가적으로 시료 수령 후 60 일간의 분석이후에 방사성핵종 분석결과를 보고하는 customary exercise와 8시간의 분석이후에 결과를 보고하는 emergency preparedness exercise로 구분하여 참여할 수 있다. 표 1에서는 NRIP에서 제공하는 검사시료내 방사성핵종 종류별 최대 방사능을 나타내었다. 본 연구에서는 인공합성소변시료에 대하여 customary exercise로 ²⁴³Cm, ²⁴¹Am, ²⁴⁰Pu, ²³⁸Pu, ²³⁸U, ²³⁵U, ²³⁴U, ²¹⁰Po, ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co, ⁵⁷Co 분석 프로그램에, emergency preparedness exercise로 ²⁴¹Am, ²⁴⁰Pu, ²³⁸Pu, ²³⁸U, ²³⁴U, ²¹⁰Po, ⁹⁰Sr, ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs 분석 프로그램에 각각 참여하였다. 해당 핵종들은 바이오어세이 일상감시에 주로 적용되고 비상시 내부피폭 유발이 가능한 핵종을 위주로 선정되었다. NIST에서 제공하는 인공합성소변시료는 표 2와 같이 약 90%의 증류수와 약 7%의 질산 등으로 구성되어 있다.

바이오어세이에 대한 성능검사 기준으로는 ANSI N13.30에서 제시하는 정확도 및 정밀도에 대한 검사기준을 적용하고 있다. 정확도와 정밀도는 아래 식과 같이 계산된 상대편중(B_r)과 상대정밀도(S_B)를 이용하여 각각 평가된다.

$$B_{ri} = (A_i - A_{ai}) / A_{ai}, B_r = \sum_{i=1}^N \frac{B_{ri}}{N} \quad (1)$$

$$S_B = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (B_{ri} - B_r)^2}{(N-1)}} \quad (2)$$

여기서 A_i 는 i 번째 검사시료에 대한 측정된 방사능농도, A_{ai} 는 i 번째 검사시료의 실제 방사능농도, B_{ri} 는 i 번째 검사시료의 상대편중, N 은 검사시료의 개수를 나타낸다. 통계적으로 유의한 바이오어세이 성능검사를 수행하기 위해서는 5개 이상의 검사시료에 대한 측정결과가 요구

Table 2. Composition of the Synthetic Urine Matrix.

Reagent name	Chemical formula	Weight percent (%)
Oxalic Acid	$C_2H_2O_4 \times 2H_2O$	0.00190
Pepsin	N/A	0.00275
Lactic Acid	$C_3H_6O_3$	0.00891
Magnesium Sulfate	$MgSO_4 \times 7H_2O$	0.0436
Glucose	$C_6H_{12}O_6$	0.0455
Citric Acid (anhydrous)	$C_6H_8O_7$	0.0512
Calcium Chloride	$CaCl_2 \times 2H_2O$	0.0597
Hippuric Acid	$C_9H_9NO_3$	0.0597
Sodium Metasilicate	$Na_2SiO_3 \times 9H_2O$	0.00673
Ammonium Chloride	NH_4Cl	0.101
Creatine	$C_4H_9N_3O_2 \times H_2O$	0.104
Sodium Chloride	$NaCl$	0.220
Sodium Phosphate Monobasic	$NaH_2PO_4 \times H_2O$	0.259
Potassium Chloride	KCl	0.325
Sodium Sulfate (anhydrous)	Na_2SO_4	0.409
Urea (carbamide)	CH_4N_2O	1.52
Nitric Acid	HNO_3	6.70
Distilled Water	H_2O	90.1

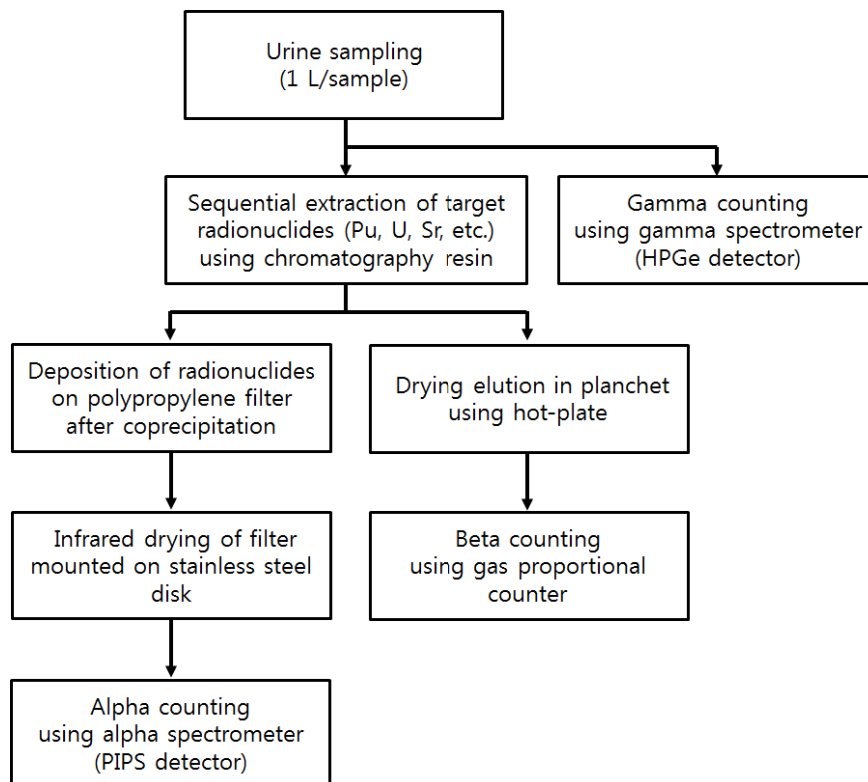


Fig. 1. Urine bioassay procedure applied in this study.

된다[3-5]. ISO와 이전 ANSI N13.30에서는 $-0.25 \leq B_r \leq 0.50$, $S_B \leq 0.40$ 의 바이오어세이 성능검사 기준을 제시하지만 2011년에 개정된 ANSI N13.30에서는 $\sqrt{B_r^2 + S_B^2} \leq 0.25$ 의 성능검사 기준을 제시하였다 [3-5]. NRIP에서는 최신 ANSI의 기준[5]에 따라 참가 실험

실의 성능검사 결과를 제공하고 있다.

2.2 소변시료 바이오어세이

소변시료 바이오어세이는 일상감시용인 customary exercise와 비상감시용인 emergency preparedness



Fig. 2. Ion exchange chromatography resin to extract target radionuclides emitting alpha and beta particles.

exercise로 구분된다. 분석결과와 보고시간 차이로 인하여 전처리 과정에 소요되는 시간과 측정시간의 차이가 있지만 분석방법은 그림 1과 같은 동일한 절차를 이용하여 수행되었다.

Customary exercise를 위한 바이오어세이 교차분석용 인공합성 소변시료는 총 5개의 검사시료와 3개의 blank 시료로 구성된다. 각각의 시료는 1 L씩 제공되었다. 감마 핵종(¹³⁷Cs, ⁶⁰Co, ⁵⁷Co) 분석의 경우 시료를 90 mL 용기에 옮겨 담고 질량 측정 후 HPGe 검출기(Canberra, GC3018)를 이용하여 각 시료당 80,000초 동안 측정하였다. 이 후 그림 2와 같은 이온교환수지를 이용하여 알파/베타 방출핵종(²⁴³Cm, ²⁴¹Am, ²⁴⁰Pu, ²³⁸Pu, ²³⁸U, ²³⁵U, ²³⁴U, ²¹⁰Po, ⁹⁰Sr)을 선택적으로 분리 추출하였다. 분석과정 중 발생하는 핵종의 화학적 손실율을 보정하기 위하여 ²³²U, ²⁴²Pu, ²⁴³Am, stable Sr을 트레이서로 첨가하였다.

Pu 동위원소는 TEVA resin, U 동위원소는 UTEVA resin, ²⁴¹Am과 ²⁴³Cm은 TRU resin, ⁹⁰Sr은 Sr resin을 사용하여 각각의 핵종을 순수 분리하였으며 ²¹⁰Po은 공침법을 이용하여 핵종 추출 후 계측용 시료로 제작하였다. 이온교환수지를 통과한 시료는 공침법을 이용하여 목표핵종의 침전반응을 유도한 후 0.1 μm polypropylene filter (φ 25 mm)에 흡착시킨 후 stainless steel disk (φ 25 mm × 0.2 mm)에 부착하여 적외선램프에서 건조하였다. 알파방출 핵종에 대한 계측은 이온주입형 실리콘검출기가 장착된 알파스펙트로메터(Canberra, Alpha Analyst™)를 이용하여 시료당 200,000초 동안 수행하였다. ⁹⁰Sr은 순수 분리 후 저준위측정용 기체비례계수기(Canberra, 5 XLB™)를 이용하여 시료당 5,400초간 측정을 수행하였다.

Emergency preparedness exercise를 위한 바이오어세이 교차분석용 인공합성 소변시료 역시 총 5개의 검사시료와 3개의 Blank시료로 구성되며 각각의 시료는 customary exercise와 마찬가지로 1 L씩 제공되었다. 감마 핵종(⁶⁰Co, ¹³⁷Cs) 분석의 경우 1 L 마리넬리 비커에 바로 옮겨 담고 질량 측정후 HPGe 검출기(Canberra, GC3018)를 이용하여 각 시료당 5,000초 동안 측정하였다. 이 후 알파/베타 방출핵종(²⁴¹Am, ²⁴⁰Pu, ²³⁸Pu, ²³⁸U, ²³⁴U, ²¹⁰Po, ⁹⁰Sr)에 대해서 customary exercise와 동일하게 이온교환수지를 이용하여 선택적으로 추출하였다. 이 후 전처리과정은 customary exercise에서 사용된 방법과 동일하며 알파핵종에 대한 계측은 알파스펙트로메터(Canberra, Alpha Analyst™)를 이용하여 시료당 5,400 ~ 9,000초 동안 수행하였으며 ⁹⁰Sr은 기체비례계수기(Canberra, 5 XLB™)를 이용하여 시료당 1,200초간 측정을 수행하였다.

모든 측정결과는 검사시료에 의한 계수값에 blank 시료에 의한 계수값을 차감한 값을 이용하였으며 측정불확도는 합성불확도에 포함인자(k=2)를 적용하여 확장불확도를 산출하였다.

Table 3. Measurement Results and Performance Evaluation of Urine Bioassay for Customary Exercise.

Radionuclide	Measurement result by NIST		Measurement result by KIRAMS		Performance evaluation		
	Activity concentration (Bq/g)	Expanded uncertainty (%)	Activity concentration (Bq/g)	Expanded uncertainty (%)	Relative bias (%)	Relative precision (%)	Bioassay acceptance
²⁴³ Cm	0.523	0.94	0.413	29.2	-21	5	Pass
²⁴¹ Am	1.364	0.90	1.376	17.4	1	4	Pass
²⁴⁰ Pu	0.584	0.79	0.586	23.5	0.4	4	Pass
²³⁸ Pu	0.451	0.71	0.441	27.4	-2	6	Pass
²³⁸ U	1.553	0.63	1.558	16.6	0.3	2	Pass
²³⁵ U	0.071	0.80	0.064	73.7	-10	10	Pass
²³⁴ U	1.495	1.00	1.488	17.1	-1	4	Pass
²¹⁰ Po	5.06	2.50	4.967	54.6	-2	3	Pass
⁹⁰ Sr	11.41	0.77	11.75	58.8	3	13	Pass
¹³⁷ Cs	236.3	0.72	227.5	11.0	-4	1	Pass
⁶⁰ Co	156.6	0.56	156.5	8.6	0	1	Pass
⁵⁷ Co	1.599	1.98	1.314	129	-18	12	Pass

Table 4. Measurement results, Difference and Turnaround Time of Urine Bioassay for Emergency Preparedness Exercise.

Radionuclide	Sample ID	Measurement result by NIST		Measurement result by KIRAMS		Difference (%)	Turnaround time (hr)
		Activity concentration (Bq/g)	Expanded uncertainty (%)	Activity concentration (Bq/g)	Expanded uncertainty (%)		
²⁴¹ Am	U-001	0.296	0.9	0.194	49	-35	7.9
	U-002	0.294	0.9	0.299	45	1.9	
	U-003	0.364	0.9	0.475	38	30	
²⁴⁰ Pu	U-001	0.127	0.7	0.096	64	-24	7.9
	U-002	0.126	0.7	0.182	47	45	
	U-003	0.156	0.7	0.122	55	-22	
²³⁸ Pu	U-001	0.098	0.7	0.123	57	26	7.9
	U-002	0.097	0.7	0.077	71	-21	
	U-003	0.121	0.7	0.131	53	8.4	
²³⁸ U	U-001	0.337	0.6	0.427	35	27	10.4
	U-002	0.334	0.6	0.354	37	5.9	
²³⁴ U	U-001	0.325	0.6	0.358	38	10	10.4
	U-002	0.322	0.6	0.324	38	0.67	
²¹⁰ Po	U-001	1.10	2.5	0.903	40	-18	7.9
	U-002	1.09	2.5	0.995	37	-8.8	
	U-003	1.35	2.5	1.808	36	34	
⁹⁰ Sr	U-001	2.48	0.8	2.64	45	6.5	7.9
	U-002	2.46	0.8	1.86	70	-24	
	U-003	3.05	0.8	2.88	37	-5.7	
⁶⁰ Co	U-001	34.0	0.7	33.5	5.8	-1.4	7.8
	U-004	24.0	0.7	24.1	6.5	0.41	
	U-005	16.6	0.7	16.4	7.7	-1.3	
¹³⁷ Cs	U-001	51.3	0.9	50.4	6.6	-2.5	7.8
	U-004	36.2	0.9	35.4	7.2	-4.4	
	U-005	25.1	0.9	24.0	8.0	-1.8	

3. 결과 및 논의

표 3에는 customary exercise의 측정결과와 성능검사 결과를 나타내었다. NRIP에서 정확도와 정밀도 평가시 NIST의 측정결과를 기준값(reference value)으로 적용하여 상대편중과 상대정밀도가 평가되었다. NIST에서는 감마핵종(¹³⁷Cs, ⁶⁰Co, ⁵⁷Co)에 대해서는 동시신호측정용 이온챔버를 통해 측정하였고 ²⁴¹Am, ⁹⁰Sr에 대해서는 액체섬광계수기로 측정한 결과를 기준값으로 적용하였다. U 동위원소는 질량분석기, 실리콘검출기 및 액체섬광계수기로, Pu 동위원소는 액체섬광계수기와 섬광검출기로 측정하였으며 ²¹⁰Po은 액체섬광계수기와 알파스펙트로미터를 이용하여 교차로 측정된 결과를 기준값으로 적용하였다. 12가지 핵종에 대하여 상대편중은 -21 ~ 2%의 범위를 나타내는 것으로 확인되었다. 상대정밀도는 모든 핵종에서 13% 이내로 확인되었다. 바이오어세이 성능검사 항목에는 포함되어 있지 않지만 평가된 확장불확도의 비교결과 NIST 평가결과에 비해 높게 나타났으며 방사능농도가 낮

은 핵종에서 확장불확도가 높게 평가되었다. 하지만 ANSI N42.22에서 제시하는 소급성에 대한 기준[10]인 $|V_R - V_N| \leq 3\sqrt{u_c^2(N) + u_c^2(R)}$ 는 모두 만족하는 것으로 평가되었다. 여기서 V_R 과 V_N 은 참여기관과 NIST에서 측정한 결과를 각각 나타내고 $u_c(R)$ 과 $u_c(N)$ 은 참여기관과 NIST에서 산출한 측정결과와 표준합성불확도를 각각 나타낸다.

표 4에는 emergency preparedness exercise의 측정결과와 백분율 차이 및 분석소요시간(turnaround time)을 나타내었다. 이 교차분석의 경우 비상대응을 위한 측정방법으로 8시간의 분석시간을 참가 실험실에 제공한다. 따라서 검사시료를 수령한 이후 8시간 이내에 측정결과를 NIST에 전자메일을 통해 보고하는 형태로 수행되었다. 또한 이 검사방법은 customary exercise와 달리 정확도와 정밀도 평가는 별도로 하지 않고 참가 실험실의 측정결과와 NIST의 측정결과에 대한 차이만 평가한다. 이때 NIST에서 채택한 핵종별 측정방법은 customary exercise와 동일하고 이 측정결과를 기준값으로 적용하여 백분율

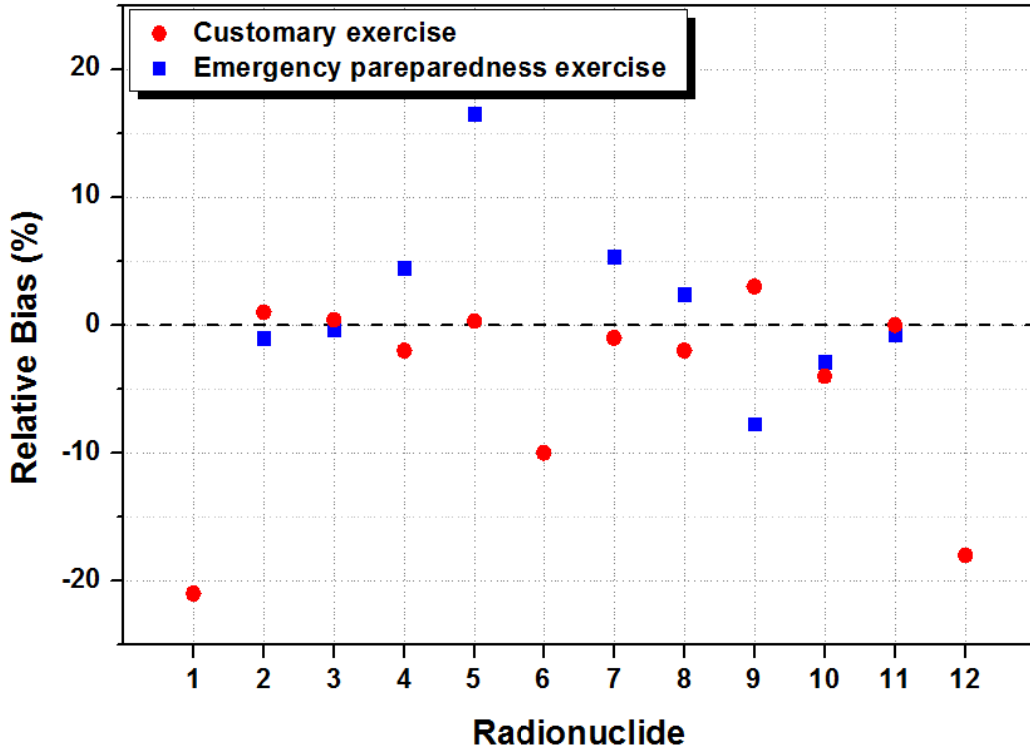


Fig. 3. Relative bias of measurement results on urine bioassay according to the radionuclides (1: ²⁴³Cm, 2: ²⁴¹Am, 3: ²⁴⁰Pu, 4: ²³⁸Pu, 5: ²³⁸U, 6: ²³⁵U, 7: ²³⁴U, 8: ²¹⁰Po, 9: ⁹⁰Sr, 10: ¹³⁷Cs, 11: ⁶⁰Co, and 12: ⁵⁷Co).

차이를 평가한다. 제한된 시간 내에 참여핵종에 대한 측정을 수행하기 위하여 9가지 핵종별로 검사시료를 선택적으로 2~3개씩만 측정하였다. 9가지 핵종의 백분율 차이의 범위는 -35 ~ 45%를 보였다. 특히 감마핵종(¹³⁷Cs, ⁶⁰Co)의 경우 방사능농도가 비교적 높아 ±5% 이내로 잘 일치하는 것으로 나타났다. 타핵종의 경우 방사능농도가 상대적으로 낮고 계측시간도 customary exercise에 비해 짧기 때문에 백분율 차이가 비교적 높은 것으로 평가되었다. U 동위원소의 경우 전처리 소요시간이 다른 알파방출핵종보다 길어 2개의 검사시료만 측정이 수행되었으며 분석소요시간도 10.4시간으로 유일하게 8시간을 초과하여 측정이 완료되었다.

Customary exercise에서는 ANSI에서 제시하는 성능검사 기준을 모두 만족하였다. 본래 emergency preparedness exercise에서는 이러한 성능검사 기준을 적용하지 않지만 NRIP에서 평가하는 동일한 성능검사 기준을 적용한 결과 ²⁴¹Am, ²⁴⁰Pu, ²¹⁰Po를 제외하고는 모든 핵종에서 성능검사 기준을 만족하는 것으로 확인되었다. 또한 emergency preparedness exercise를 customary exercise에서의 측정방법과 동일하게 수행할 경우 위 핵종을 포함한 모든 핵종이 성능검사 기준을 만족하는 것으로 확인되었다. 그림 3에서는 customary exercise와 emergency preparedness exercise의 참여 핵종별 상대편차를 나타내었다. Emergency preparedness exercise의 경우 확인된 오차범위 이내에서 비상시 신속한 내부피폭 분류용으로 적용하기에는 무리가 없을 것으로 판단되었다. 향후 비상

시 적용을 위하여 소변시료 바이오어세이에 대한 핵종별 최소검출한도를 설정하여 그에 따른 분석방법 최적화를 통해 분석 소요시간을 단축시키고 처리 가능량을 보다 증가시킬 수 있는 방안에 대하여 추가적인 연구가 진행될 필요가 있다.

4. 결론

본 연구에서는 소변시료 바이오어세이 결과에 대한 보다 객관적인 성능검사를 수행하기 위하여 미국 NIST에서 주관한 NRIP-2013에 참여한 결과를 소개하였다. 소변시료 바이오어세이 교차분석은 두 가지 형태로 진행되었다. 60일간의 분석기간 동안 참여 방사성핵종의 분석결과를 보고하는 customary exercise와 비상상황에 대비하여 8시간 내에 분석결과를 신속하게 보고하는 emergency preparedness exercise에 각각 참여하였다. 측정결과 customary exercise에서는 12가지 방사성핵종에 대한 측정 결과 ANSI N13.30에서 제시하는 성능검사 기준을 모두 만족하는 것으로 확인되었으며 emergency preparedness exercise에서는 9가지 방사성핵종에 대하여 -35 ~ 45%의 차이를 나타내었다. Emergency preparedness exercise에서 제공된 검사시료를 계측시간을 늘려서 재측정할 경우 모든 핵종에서 ANSI N13.30의 성능검사 기준을 만족하는 것을 확인하였으며 emergency preparedness exercise에서 적용된 측정방법은 확인된 오차범위 내에서

비상시 신속한 내부피폭 분류에 적용하는데 적합할 것으로 확인되었다.

감사의 글

본 연구는 한국원자력학회에서 수행중인 국가방사선 비상진료센터 운영고도화(No. 50445-2014) 사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. International Atomic Energy Agency. Direct methods for measuring radionuclides in the human body. IAEA Safety Series No. 114, 1995.
2. International Atomic Energy Agency. Indirect methods for assessing intakes of radionuclides causing occupational exposure. IAEA Safety Reports Series No. 18, 2000.
3. International Organization for Standardization. Radiation Protection - Performance criteria for radiobioassay. ISO 28218, 2010.
4. American National Standard Institute. American National Standard - Performance criteria for radiobioassay, ANSI/HPS N.13.30, 1996.
5. American National Standard Institute. American National Standard - Performance criteria for radiobioassay. ANSI/HPS N.13.30, 2011.
6. Wu Z, Inn KGW, Lin Z, McMahon CA, Karam LR. NIST radiochemistry intercomparison program: a summary of four-year performance evaluation study. Appl. Radiat. Isot. 2002;56:379-385.
7. Nour S, LaRosa J, Inn KGW. Emergency radiobioassay preparedness exercises through the NIST radiochemistry intercomparison program. Health Phys. 2011;101(2):170-175.
8. Inn KGW, Outola I, Nour S, Kurosaki H, Albin L, Berne A. Radioanalytical emergency response exercise. J. Radioanal. Nucl. Chem, 2006; 269(2):351-360.
9. Maxwell SL. Rapid analysis of emergency urine and water samples. J. Radioanal. Nucl. Chem, 2008;275(3):497-502.
10. American National Standard Institute. American National Standard - Traceability of radioactive sources to the National Institute of Standard and Technology (NIST) and associated instrument quality control, ANSI N.42.22, 1995.

Performance test of urine bioassay through participation in the NRIP

Wi-Ho Ha^{*†}, Jaeryong Yoo^{*}, Seokwon Yoon^{*}, Seung-Sook Lee^{*}, and Jong Kyoung Kim[†]

^{*}National Radiation Emergency Medical Center, Korea Institute of Radiological and Medical Sciences,

[†]Department of Nuclear Engineering, Hanyang University

Abstract - Urine bioassay has been widely used for internal dosimetry due to simple process of sampling and measurement. In this paper, we participated in the NRIP (NIST Radiochemistry Intercomparison Program) hosted by US NIST to carry out a reliable performance test of urine bioassay and introduced the measurement method and results of NRIP-2013. In customary exercise with 60 days of reporting time, bioassay results of 12 radionuclides in the synthetic urine samples were acceptable based on the performance criteria of ANSI N13.30. In emergency preparedness exercise with 8 hours of reporting time, bioassay results of 9 radionuclides showed that differences ranged from -35% to 45%. However, we concluded that urine bioassay applied for emergency preparedness exercise would be applicable for rapid screening and estimation of internal exposure within a difference of $\pm 45\%$ in the event of radiological accidents.

Keywords : Internal dosimetry, Urine bioassay, Performance test, Radioactivity measurement